

Una dolomía muy especial. Una propuesta conjunta de trabajo de campo y laboratorio con alumnos de educación secundaria obligatoria

José Pedro López-Pérez^{1,2,a}, Raquel Boronat-Gil^{3,b}

¹I.E.S. Ricardo Ortega. 30320 Fuente Álamo. Murcia. España.

²Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 Murcia. España.

³IES Antonio Menárguez Costa. 30710 Los Alcázares. Murcia. España.

^ajosepedro.lopez@murciaeduca.es, ^braquel.boronat@murciaeduca.es

[Recibido en abril de 2016, aceptado en octubre de 2016]

Este trabajo describe una actividad de laboratorio que reproduce la producción biológica de sulfuro de hidrógeno a microescala y el estudio básico del metabolismo microbiano. Esta actividad ayuda a comprender al alumnado de enseñanza media el por qué del olor fétido que desprenden algunos tipos de rocas sedimentarias cuando son golpeadas, caso de algunas dolomías, y la repercusión en su formación.

Palabras clave: Dolomía; Geología; Laboratorio de educación secundaria obligatoria; Microbiología; Producción de sulfuro de hidrógeno.

A very special dolostone. A joint proposal of field and laboratory work with students of Compulsory Secondary Education

This paper describes a laboratory activity that reproduces the biological production of hydrogen sulphide to microscale and the basic study of microbial metabolism. This activity helps to high school students to understand why some types of sedimentary rocks produce a fetid smell when they are hit, such as some dolostones, and the impact on their formation.

Keywords: Dolostone; Geology; Compulsory secondary education laboratory; Microbiology; Hydrogen sulphide production.

Para citar este artículo: López-Pérez J. P., Boronat-Gil R. (2017). Una dolomía muy especial. Una propuesta conjunta de trabajo de campo y laboratorio con alumnos de educación secundaria obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (1), 126-134. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18851>

Introducción y objetivo del trabajo

Las excursiones de campo son un recurso muy utilizado por el profesorado con el objetivo de profundizar diversos aspectos de las ciencias de la naturaleza. Numerosas publicaciones destacan su importancia ya que las salidas rompen la rutina habitual en el aula y trasladan el conocimiento al entorno natural, permitiendo un aumento de la motivación y, por consiguiente, del aprendizaje significativo. Del mismo modo, las excursiones (1) promocionan la inmersión en el medio ambiente, permitiendo al discente la captación de una diversa riqueza geológica, florística y faunística, así como la intuición de las relaciones que puedan existir entre estos elementos; (2) fomentan el ejercicio de todos los procedimientos científicos propios del trabajo en el campo con las múltiples actividades y aplicaciones propuestas por el docente para el respeto, valoración, mejora y conservación del entorno; (3) reducen la dificultad del estudio del medioambiente cercano al alumno y (4) se enriquece el aprendizaje del alumnado por la motivación intrínseca que genera el nuevo lugar de trabajo, haciéndolo más receptivo hacia el aprender, atendiendo al conocimiento científico como algo integrado por una variedad de disciplinas que abordan diferentes aspectos de la realidad (Jaén y Bernal 1993, García de la Torre *et al.* 1993, López-Martín 2007, Moreira *et al.* 2002, Orion y Hofstein 1994, Pedrinaci 2012, así como citas varias en estas referencias).

No obstante, y desde nuestra experiencia con salidas al campo con alumnos de enseñanzas medias, así como las clásicas referencias hacia estas ideas abordadas por Brañas *et al.* (1988), todas estas bondades se difuminan cuando la salida planificada por el docente intenta ser lo más completa posible, abordando numerosos aspectos medioambientales, sin un claro descubrimiento por parte del alumno y por tanto, sin el consiguiente aprendizaje significativo. Por todo ello, y como consecuencia del reducido número de salidas previstas en un centro de estudios para un curso o ciclo académico, así como el excesivo costo económico sufragado por el alumno (así es, al menos, nuestra experiencia) para promover el transporte hacia el lugar de trabajo en el campo, nuestra recomendación más directa es descubrir los valores medioambientales cercanos y tradicionales que rodean al centro de estudios, siendo de este modo la planificación y recursos una metodología más efectiva y natural para interiorizar el conocimiento entre los discentes. De igual modo, y con el objetivo de potenciar aún más el trabajo del alumnado, debemos tener presente que su papel en una salida al campo no puede ser pasivo, únicamente respondiendo a cuestiones y haciendo preguntas que van surgiendo sin constatar lo que se está viendo en ese momento, o sin darle la posibilidad de poder descubrirlo por ellos mismos. Para intentar solucionar este problema, en algunas de la salidas que se han llevado a cabo se ha combinado el trabajo de campo con el descubrimiento y analogía de lo observado con la labor científica en el laboratorio del centro de estudios. En este trabajo se analiza esta experiencia con el objetivo de favorecer los resultados en cuanto a comprensión y replanteamiento de las ideas previas del alumnado de 2º ciclo de ESO y Bachillerato, frente al uso convencional de una metodología «tradicional» de trabajo, obstaculizada por unos marcos teóricos desprovistos de actividades que fomenten la participación y motivación.



Figura 1. Aspecto general de la Sierra de Carrascoy (área de la Fuensanta-Parque Natural «El Valle-Carrascoy») en las inmediaciones de la pedanía murciana de Algezares. (1) Paraje carbonatado a base de calizas pardas y dolomías grises. (2) Área minera de yeso conocido como «El Cocón». (B) Detalle de la roca dolomítica objeto de estudio.

Descripción del lugar de trabajo y planteamiento de la propuesta

En nuestro caso hemos elegido como lugar de trabajo con los alumnos la estribación este de la sierra de Carrascoy (Algezares, municipio de Murcia, España). En esta encontramos un zócalo complejo, Permotriásico, a base de argilitas rojas y cuarcitas (figura 1), junto a un paquete carbonático triásico con abundantes yesos en cobertera (Kampschuur 1972, Núñez *et al.* 1976). Estos últimos fueron descritos por Calderón (1910), en su monografía sobre minerales, por su excelente transparencia (yeso espejejo) para la confección de escayolas. Las rocas carbonatadas están constituidas a base de calizas y dolomías oscuras, catalogadas por Arana *et al.* (1999) dentro del marco de Lugares de Interés Geológico de la Región de Murcia.

Las rocas dolomíticas están formadas por el mineral dolomita $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, de aspecto externo similar a la calizas, si bien son identificadas fácilmente en el laboratorio de enseñanza media por ensayos químicos básicos (dilución de ácido clorhídrico-HCl, en frío, produce abundante efervescencia en la caliza; en el caso de la dolomía es requerido en caliente). El origen sedimentario de las mismas es doble, en palabras de Meléndez y Fuster (2003). Por un lado, la precipitación simultánea del calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), consecuencia de la actividad biológica o química y, por otro, el enriquecimiento paulatino de magnesio en la caliza en fase de formación, consecuencia de la sustitución del calcio por este último metal (proceso de dolomitización), previo a la consolidación de la roca carbonatada.

Una de las características de las dolomías de esta zona de estudio es su olor fétido cuando son golpeadas. Este hecho ha dado lugar a todo un trabajo minucioso con los alumnos en el laboratorio de Educación Secundaria con el objetivo de comprobar su posible origen y formación.

Breve historia geológica y metodología de trabajo en el laboratorio para comprobarla

Cuando se estudia ante los alumnos de Educación Secundaria el fenómeno fétido que emiten las dolomías al golpearlas y se pregunta el por qué del mismo, no hay respuesta y, menos aún cuando en la composición química de la roca no aparece la descripción del sulfuro de hidrógeno como el gas responsable del fenómeno. Pero, ¿qué pudo pasar en aquellos antiguos mares para acumularse ese gas y quedar atrapado en la matriz mineral que constituye la roca? Imagínese un mar donde se provoca un masivo depósito de material carbonatado de origen químico o biológico. Esas aguas, como bien nos definen los estratos adyacentes a la roca dolomítica del lugar, disponían de gran cantidad de ión sulfato (SO_4^{2-}) y materia orgánica (a raíz de la coloración oscura que adquirieron las rocas). La acción microbiana anaeróbica fue (posiblemente) la responsable incipiente del proceso gracias a la reducción del ión sulfato a sulfuro, bajo condiciones de ausencia de oxígeno. La presencia de este ión reducido secuestró trazas de catión ferroso (Fe^{2+}) presente en la masa de agua, reaccionando y precipitando sulfuro de hierro que oscurecería, aún más, la masa de sedimento formado y originario de la roca dolomítica resultante (figura 2). Pero, ¿cómo comprobar este hipotético hecho en un laboratorio de Educación Secundaria? Para empezar, todas las sustancias que se han descrito como integrantes de la formación de la roca deberán aparecer en el ensayo de trabajo. Para ello, tomando como base la aportación de López *et al.* (2010), en esta misma revista, para la observación de la producción de sulfuro de hidrógeno (H_2S) de origen biológico, se procedió de igual modo con un cultivo de microorganismos presentes en una muestra de agua residual enriquecida en materia orgánica, con el objetivo final de inferir lo que pudo ocurrir en aquellos ambientes primitivos anóxicos que hoy día se expresan en los estratos constituidos por estas rocas dolomíticas. Con este objetivo, el alumnado elaborará un medio de cultivo complejo de microorganismos a base de un hidrolizado de carne y una fuente de azufre (sulfito de sodio).

En un matraz Erlenmeyer de 250 ml se verterán 100 ml de agua del grifo, 1,0 g de triptona (que puede sustituirse por $\frac{1}{4}$ de pastilla de caldo de carne alimentaria), 0,1 g de sulfito de sodio (Na_2SO_3), 0,1 g de citrato férrico [$\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)$], 0,1 g de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) y 1,0 g de agar. El pH de la disolución oscilará entre $7,1 \pm 0,2$ (modificado de AENOR 1995). Para una correcta disolución del agar en agua, la preparación se llevará a ebullición durante 2 minutos. Durante este tiempo, el contenido del matraz se agitará con el objetivo de impedir la formación de precipitados y la elaboración de compuestos tóxicos como consecuencia del tostado de los materiales polisacáridicos que lo componen. A continuación, y tomando las medidas oportunas de control y precaución (ya que el medio está muy caliente), se verterán 15 ml de medio de cultivo en tubos de ensayo de 10×150 mm, dejando unos 2 cm de cámara de aire previos a la boca del tubo (figura 3). El tubo se cubrirá con un tapón de corcho o con plástico film transparente, dejándolo enfriar hasta $45\text{--}50^\circ\text{C}$.

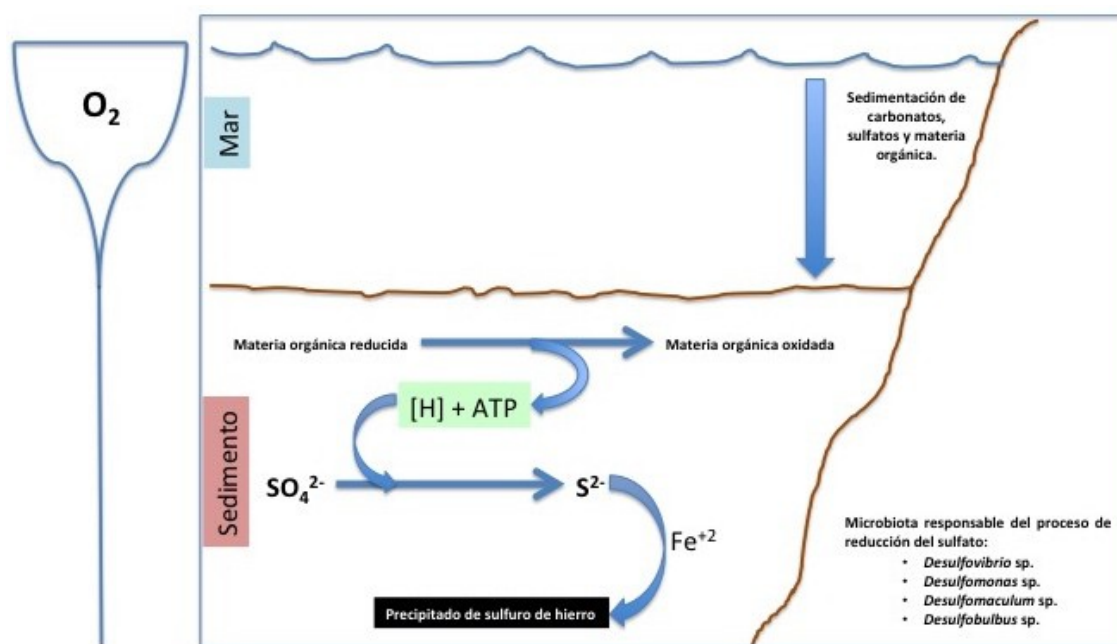


Figura 2. Modelo de interpretación aproximativo de la concentración de oxígeno presente en una hipotética columna de agua de una cuenca sedimentaria marina. Resumen de la secuencia de reacciones bioquímicas producidas por la microbiota presente en los sedimentos carbonatados que conllevan la producción de sulfuro de hidrógeno, a partir de la materia orgánica y sulfato, junto a la precipitación de sulfuros de metales pesados (coloración negra). [H] Coenzimas reducidos. ATP: Adenosín trifosfato (molécula energética para la célula).

Cuando el medio haya alcanzado esta temperatura, sin solidificar, se podrá inocular con 1 ml de agua de albañal o depuradora, o con diluciones pertinentes de la muestra en agua del grifo, según la metodología descrita por López (2009) para el cultivo de microorganismos, volteándose con cuidado (sin agitar, previniendo con ello la posible entrada de oxígeno al interior del medio) con la ayuda de un tapón de corcho e incubándose, posteriormente, a temperatura ambiente durante 48-72 horas.

La observación de un frotis de los cultivos microbianos que pudieran crecer en el interior del medio se puede llevar a cabo mediante un microscopio óptico de campo claro y objetivo 100x de inmersión en aceite, provisto de cámara digital y posterior tratamiento de imagen con el software informático adjunto a la misma.

Resultados y discusión

Las dolomías triásicas, objeto de estudio de este trabajo, tienen una coloración gris oscuro, de estructura brechoide y con capacidad para reaccionar con una solución al 10 % de ácido clorhídrico en caliente con desprendimiento de dióxido de carbono (CO_2) (señal indicativa para diferenciarla de la caliza). Meléndez y Fuster (2003) definen otro protocolo de actuación más definitivo para la diferenciación entre dolomía y caliza basado en la reacción entre las rocas y el rojo de alizarina y ferrocianuro potásico, mostrando en solución acidulada con ácido clorhídrico una tonalidad roja más fuerte en la caliza frente a la dolomía. Pero, lo más llamativo para el alumnado, cuando se compara con otras dolomías de colección que muestra el laboratorio, es su olor fétido al golpearlas, indicativo de la emisión de ácido sulfhídrico (H_2S).

Varias son las posibles características que debió tener la cuenca sedimentaria Triásica (225-250 millones de años): acumulación masiva de carbonato (CO_3^{2-}), sustitución de parte del calcio por magnesio, depósito de materia orgánica y sulfato, reducción de sulfato a sulfuro (S^{2-}) o ácido sulfhídrico y combinación de parte de este último con metales pesados, dando lugar a coloraciones oscuras en la roca final resultante. Cuando se analizan con el alumnado estas posibles características, encontramos una gran analogía con la metodología descrita en esta experiencia, constituyendo una mayor comprensión y significación del aprendizaje logrado durante el proceso.

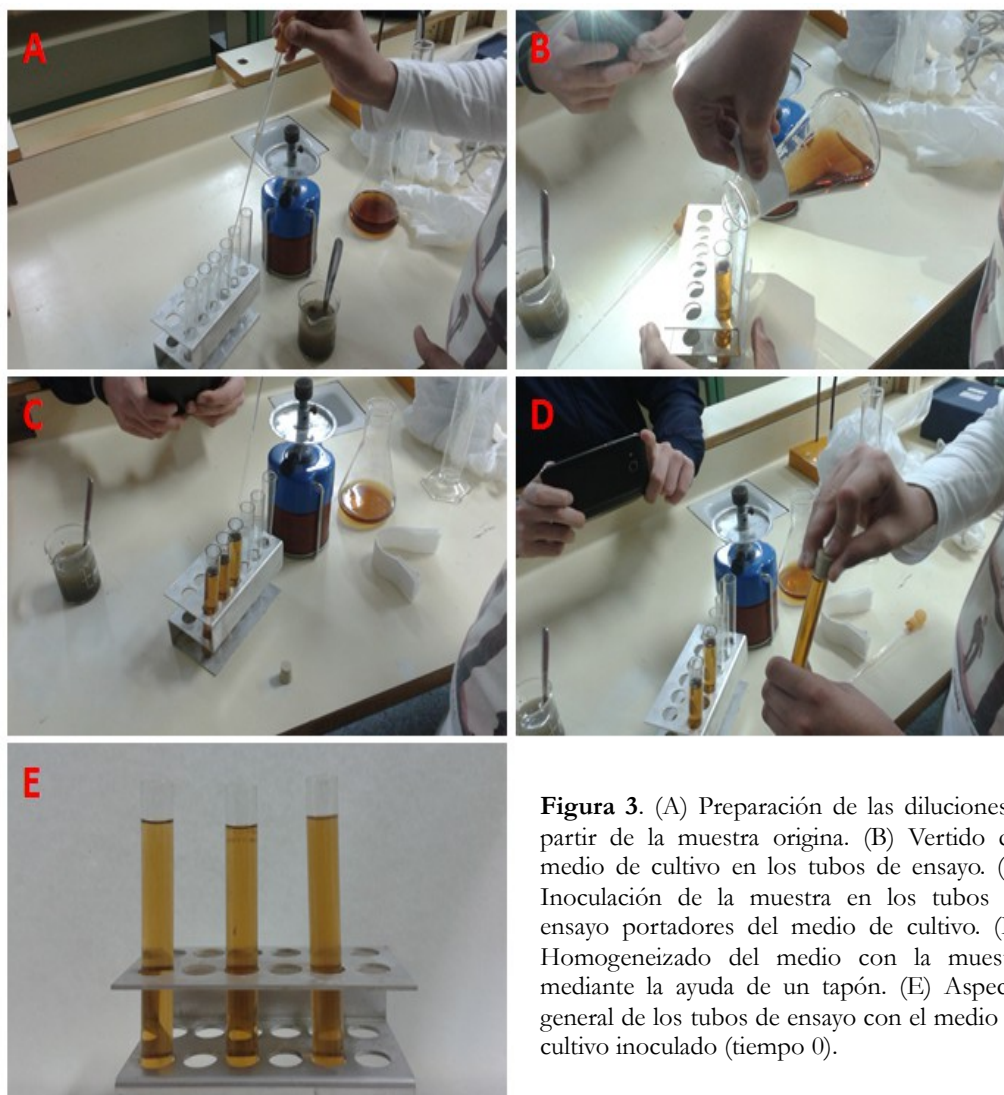


Figura 3. (A) Preparación de las diluciones a partir de la muestra original. (B) Vertido del medio de cultivo en los tubos de ensayo. (C) Inoculación de la muestra en los tubos de ensayo portadores del medio de cultivo. (D) Homogeneizado del medio con la muestra mediante la ayuda de un tapón. (E) Aspecto general de los tubos de ensayo con el medio de cultivo inoculado (tiempo 0).

La incubación, durante 72 horas, de tubos de ensayo provistos de medio de cultivo y muestra a temperatura ambiente determina la aparición de unas masas negras, consecuencia de la precipitación de sulfuros de metales pesados (sulfuro de hierro II o FeS). El metabolismo microbiano realizado por bacterias anaeróbicas determina la oxidación parcial de la materia orgánica presente en el medio de cultivo liberando poder reductor ($\text{NADH}+\text{H}^+$) y ATP (molécula energética para las células). El primero es necesario en la reducción del ión sulfito (SO_3^{2-}) utilizado como fuente de azufre en la experiencia por su rápido consumo por parte de la microbiota, dando lugar al ión sulfuro advertido por el olor fétido que desprende el tubo de ensayo. El proceso es llevado a cabo por microorganismos integrantes de los géneros *Clostridium*, *Desulfovibrio*, *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum* y *Desulfobulbus* (Madigan *et al.* 2004), gracias a la presencia en su citoplasma de enzimas sulfito reductoras (figura 2).

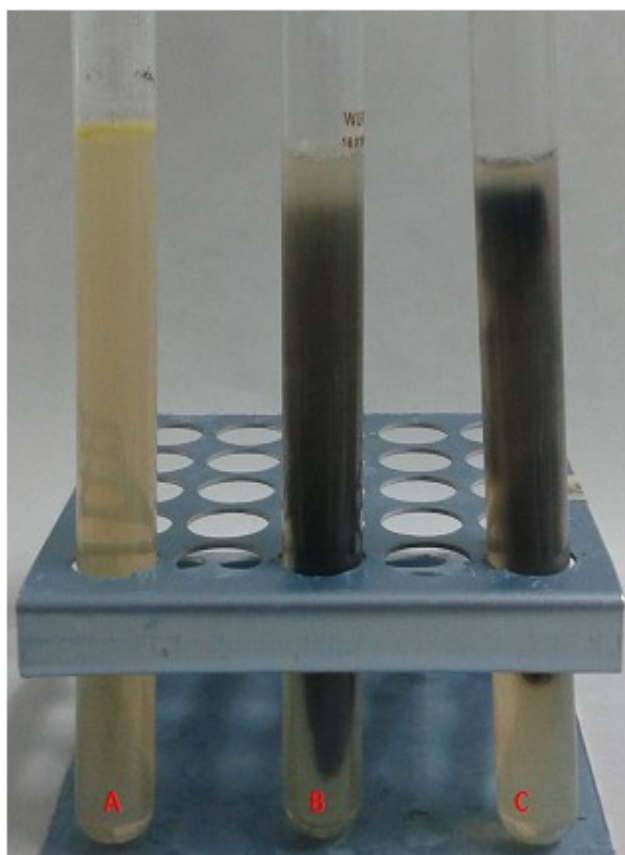


Figura 4. Resultado de la incubación del medio de cultivo inoculado con agua de albañal y recuento de bacterias reductoras de sulfito en base a la precipitación de sulfuro de hierro II -FeS (negro). (A) Control de la experiencia sin inocular. (B) Muestra original. (C) Dilución 1:10 de la muestra original.

La precipitación de sulfuro de hierro (precipitado negro) en el tubo de ensayo tiene lugar en una zona alejada de la superficie, donde la concentración de oxígeno (O_2) es importante (figura 4), muestra del metabolismo anaeróbico estricto de las bacterias sulfito reductoras analizadas en la muestra. Estos grupos microbianos carecen de un sistema de detoxificación de la molécula de oxígeno y derivados oxidantes. Del igual modo, no disponen de los sistemas citocrómicos y de los mecanismos de fosforilación oxidativa acoplada a una cadena electrónica, indicativo de un sistema aeróbico productor de ATP. La síntesis energética la llevan a cabo mediante el mantenimiento de una secuencia de reacciones bioquímicas y una fosforilación a nivel de sustrato, caso de la fermentación (Madigan *et al.* 2004).

Con ayuda de una pipeta Pasteur se tomaron alícuotas de la masa negra, en profundidad, para realizar las pertinentes observaciones bajo el microscopio óptico y comprobar, verdaderamente, que el proceso descrito es desempeñado por bacterias (figura 5). Se observa en las preparaciones una gran cantidad de

microorganismos de estructura cocoide y bacilar, muchos de estos últimos portadores de endosporas, que se ha descrito como mecanismo de resistencia frente a situaciones de estrés nutricional (Brock y Madigan 1991). También se describen microorganismos con morfología filamentosa, de acuerdo con estructuras descompensadas fruto del metabolismo producido por un estrés generado bajo condiciones anóxicas de crecimiento.

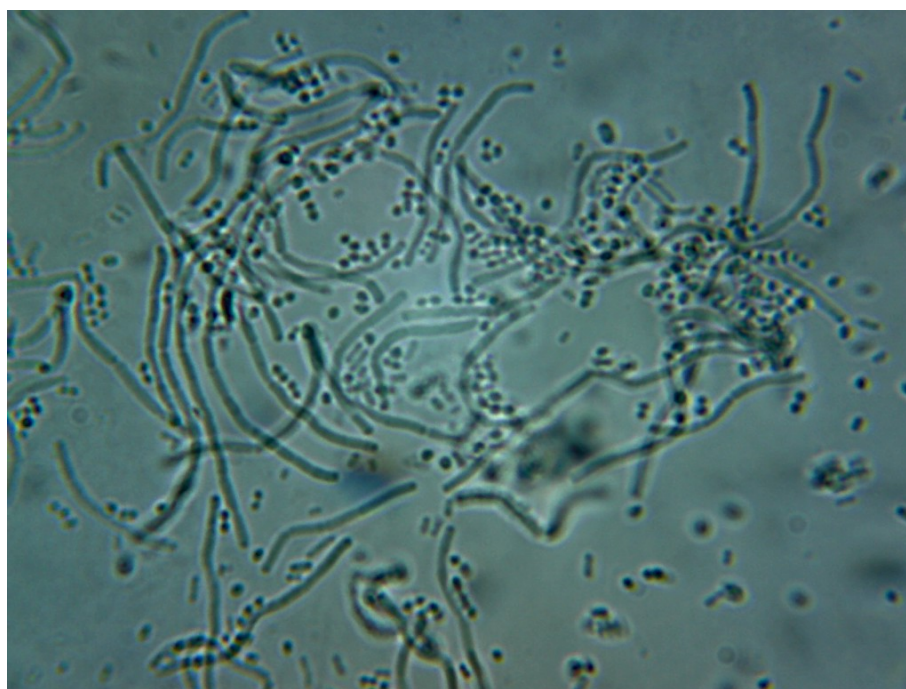


Figura 5. Imagen al microscopio óptico de campo claro de un frotis de una masa negra de crecimiento en el medio de cultivo. Se observan las variadas comunidades microbianas de morfología cocoide y bacilar responsables de la producción de sulfuro de hidrógeno.

El modelo ensayado con el alumnado y presentado en este trabajo determina la producción, en breve período de tiempo, de ácido sulfhídrico a partir de sulfito u otra fuente de azufre (como se desprende del olor fétido en el tubo de ensayo), así como la reacción consiguiente que deriva en la precipitación de metales pesados. La coloración que presentan los tubos con la muestra ensayada es extremadamente negra, bien distinta a la grisácea que presentan las rocas de los estratos analizados (figura 1). Este hecho puede conducir a error a un alumno si no se matiza y se discuten los resultados obtenidos: la concentración de materia orgánica que hemos empleado en la experiencia (16,5 g/L) es, con creces, muy superior a la que puede presentar un agua natural no eutrofizada (1-20 mg/L) (Meybeck 1982), como la que se presentaría en aquellos antiguos mares si los suponemos de similar fisicoquímica a los actuales. Además, el sulfuro de hierro formado en la experiencia queda confinado en un espacio limitado, frente a los procesos de dilución y, por ende, disminución de la concentración en un mar abierto, con volumen considerable y origen incipiente de los procesos de depósito y formación de los estratos hallados en el campo.

Conclusiones

La presente comunicación pone de manifiesto un modelo de laboratorio, a microescala, de la producción de sulfuro de hidrógeno y su repercusión en la comprensión de las características de la formación del sedimento originario de algunas rocas sedimentarias, caso de las dolomías grises ricas en materia orgánica, por parte de bacterias anaeróbicas. Además, el modelo de laboratorio también explica el por qué de la presencia de gases de olor fétido en el interior de la masa rocosa, cuando ésta es golpeada.

Esta actividad práctica pretende contribuir a un mejor conocimiento sobre diferentes aspectos de la geología dentro de un marco interdisciplinar, favoreciendo su comprensión y aportando nuevas herramientas didácticas para el profesorado.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento al alumnado de 4º ESO (curso 2011-2012) del IES «La Basílica» de Algezares (Murcia, España), y de 3º ESO (curso 2015-2016) del IES «Ricardo Ortega» de Fuente Álamo (Murcia, España), por el interesante trabajo realizado durante los años académicos que han culminado en la elaboración de esta comunicación.

Referencias bibliográficas

- AENOR (1995) *Detección y recuento de las esporas de microorganismos anaerobios sulfito-reductores (clostridia). Parte 1: Método por enriquecimiento en un medio líquido*. Madrid. AENOR. UNE-EN 26461-1 (ISO 6461-1:1986).
- Arana R., Rodríguez T., Mancheño M. A., Guillén F., Ortiz R., Fernández M. T., del Ramo A. (1999) *El patrimonio geológico de la Región de Murcia*. Murcia. Fundación Séneca. Consejería de Educación y Cultura. Región de Murcia.
- Brañas M. P., Pardo X., Paz D. (1988) Experiencias didácticas sobre el trabajo de campo en Geología: una perspectiva interdisciplinar. *Henares Revista Geología* 2, 363-405.
- Brock T., Madigan M. T. (1991) *Microbiología*. 6ª ed. México D. F. Prentice Hall.
- Calderón S. (1910) *Los minerales de España*. Madrid. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas.
- García de la Torre E., Sequeiros L., Pedrinaci E. (1993) Fundamentos para el aprendizaje de la Geología de campo en Educación Secundaria: una propuesta para la formación del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 1 (1), 11-18.
- Jaén M., Bernal M. (1993) Integración del trabajo de campo en el desarrollo de la enseñanza de la geología mediante el planteamiento de situaciones problemáticas. *Enseñanza de las Ciencias* 1 (3), 153-158.
- López J. P. (2009) Microbiología básica en la Educación Secundaria Obligatoria: el lavado de las manos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6 (2), 319-324.
- López J. P., Jiménez J., Fabregat A., Gutiérrez J. A. (2010) Microbiología de la producción controlada de sulfuro de hidrógeno. Una experiencia de trabajo en el laboratorio de Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 7 (2), 573-578.
- López-Martín J. A. (2007) Las salidas de campo: mucho más que una excursión. *Revista Educar en el 2000: Revista de Educación Ambiental* 11, 100-103.
- Kampschuur W. (1972). *Geology of the Sierra de Carrascoy (SE Spain) with emphasis on alpine polyphase deformation*. Tesis doctoral. Universidad de Amsterdam.
- Madigan M. T., Martinko J. M., Parker J. (2004) *Brock: Biología de los microorganismos*, 10ª ed. Madrid. Prentice Hall.
- Meléndez B., Fuster J. M. (2003) *Geología*, 9ª ed. Madrid. Paraninfo.
- Meybeck M. (1982) Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science* 282, 401-450.
- Moreira J., Praia J., Sofré F. (2002) La construcción de materiales didácticos en geología de campo: un estudio sobre alumnos de enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 10 (2), 185-192.

- Núñez A., Martínez W., Colondrón I. (1976) *Hoja 934. Mapa Geológico de España. Escala 1:50000. Murcia*. Segunda Serie. 1ª ed. Madrid. Instituto Geominero de España.
- Orion N., Hofstein A. (1994) Factors that influence learning during scientific field trips, in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching* 31 (10), 1097-1119.
- Pedrinaci E. (2012) Trabajo de campo y aprendizaje de las ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 71, 81-89.